

## Variation du volume du gaz en fonction de la pression à température constante (loi de *Boyle-Mariotte*)

### Objectifs expérimentaux

- Mesure du volume  $V$  d'une colonne d'air en fonction de la pression  $p$  à température constante  $T$ .
- Vérification de la loi de *Boyle-Mariotte*.

### Notions de base

Diagramme  $pV$  d'un gaz parfait à température  $T$  constante

L'état d'un gaz parfait avec une quantité de gaz de  $\nu$  moles est entièrement décrit par les facteurs  $p$  (pression),  $V$  (volume) et  $T$  (température). L'interdépendance des trois facteurs entre eux est donnée par l'équation d'état des gaz parfaits:

$$p \cdot V = \nu \cdot R \cdot T \quad (I)$$

$R = 8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ : constante du gaz

En maintenant constant l'un de ces facteurs, on trouve une relation entre les deux autres. C'est ainsi que l'on a par exemple la loi de *Boyle-Mariotte*

$$p \cdot V = \text{const.} \quad (II)$$

pour une température constante. Cet état de fait est vérifié dans l'expérience par des mesures avec le thermomètre à gaz. Le thermomètre à gaz est constitué d'un tube en verre scellé à son extrémité inférieure. Un bouchon de mercure ferme en haut la quantité d'air enfermée qui a pour la pression extérieure  $p_0$  un volume  $V_0$  délimité par le bouchon de mercure.

En pompant de l'air à température ambiante avec une pompe à main, une dépression  $\Delta p$  est générée par rapport à la pression extérieure  $p_0$  à l'extrémité ouverte du tube en verre si bien que la pression  $p_0 + \Delta p$  règne à cet endroit-là. Le bouchon de mercure exerce aussi une pression

$$p_{\text{Hg}} = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h_{\text{Hg}} \quad (III),$$

$\rho_{\text{Hg}} = 13,6 \text{ g cm}^{-3}$ : densité du mercure  
 $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$ : accélération de la pesanteur  
 $h_{\text{Hg}}$ : hauteur du bouchon de mercure

sur la quantité d'air enfermée, si bien qu'ici, la pression qui règne est la suivante:

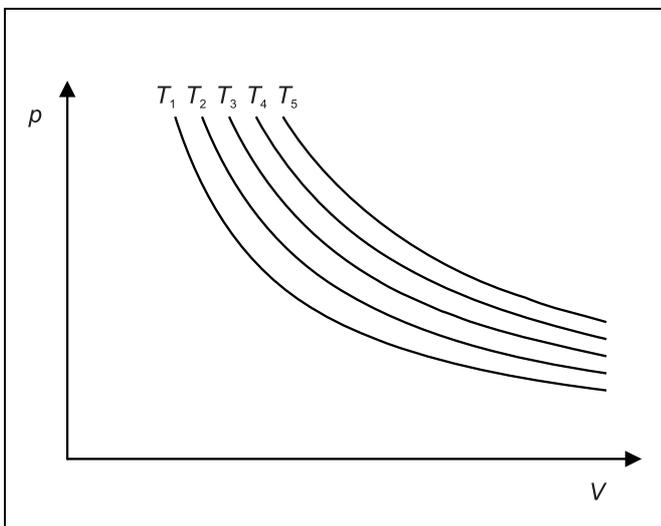
$$p = p_0 + p_{\text{Hg}} + \Delta p \quad (IV)$$

La pression  $p$  définit le volume  $V$  de la colonne d'air enfermée; ce volume est calculé à partir de la hauteur  $h$  de la colonne d'air et de la section du tube en verre.

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h \quad (V)$$

$d = 2,7 \text{ mm}$ : diamètre intérieur du tube en verre

$pV$ -Diagramm eines idealen Gases bei konstanter Temperatur  $T$



**Matériel**

1 thermomètre à gaz . . . . .	382 00
1 pompe à main pour vide et compression . . . . .	375 58
1 pied en V, petit modèle . . . . .	300 02
1 tige, 47 cm . . . . .	300 42
2 noix avec pince . . . . .	301 11

**Montage****Collecte des petites billes de mercure:**

- Brancher la pompe à main et tenir le thermomètre à gaz avec raccord pour tuyau vers le bas (voir fig. 1).
- A l'aide de la pompe à main, générer une dépression  $\Delta p$  maximale et collecter le mercure dans le renflement **(a)** pour ainsi avoir une goutte.

Le manomètre de la pompe à main indique la dépression  $\Delta p$  sous forme de valeur négative.

- Si nécessaire, légèrement tapoter contre le tube en verre pour amener les petites billes de mercure dans le renflement **(a)**.

Une petite bille de mercure qui reste coincée à l'extrémité scellée du tube en verre n'influe pas sur les résultats de la mesure.

**Réglage du volume initial  $V_0$ :**

- Lentement tourner le thermomètre à gaz pour le mettre dans sa position d'emploi (raccord pour tuyau vers le haut) et placer le mercure à l'entrée du tube en verre.
- En ouvrant prudemment la vanne d'aération **(b)** de la pompe à main, lentement réduire la dépression  $\Delta p$  jusqu'à 0 de façon à ce que le mercure se déplace lentement vers le bas, sous forme de bouchon.
- Monter le thermomètre à gaz dans le matériel support.

Si le bouchon de mercure venait à éclater suite à une aération trop violente ou à cause d'une secousse:

- recommencer à collecter du mercure.

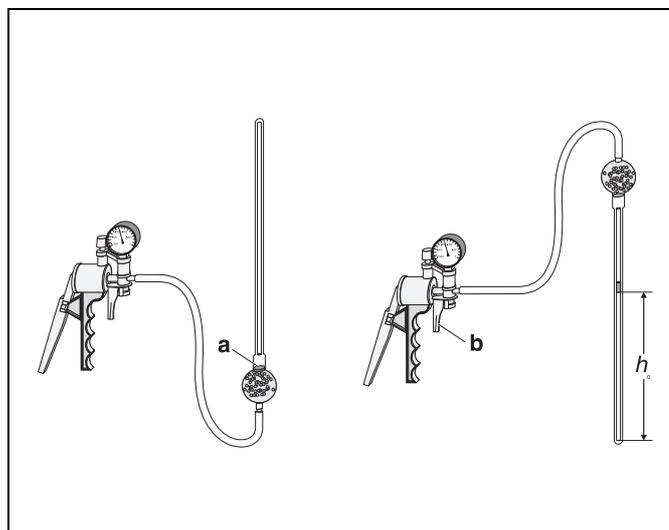
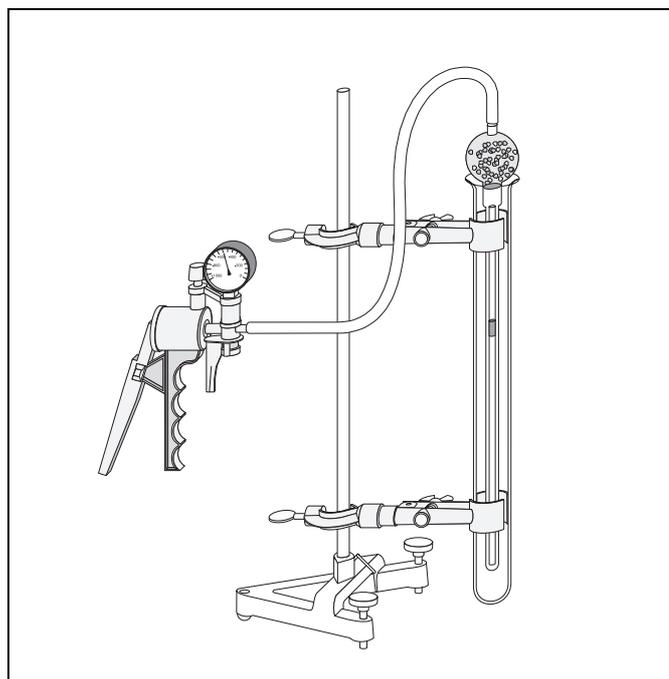


Fig. 1 Collecte des petites billes de mercure et réglage du volume initial  $V_0$ :

Fig. 2 Montage expérimental pour l'étude de la variation du volume en fonction de la pression à température constante

**Réalisation**

- Déterminer la pression extérieure  $p_0$ .
- Relever la hauteur  $h_{Hg}$  du bouchon de mercure sur l'échelle du thermomètre à gaz.
- Utiliser la pompe à main pour générer une dépression  $\Delta p$  et augmenter celle-ci progressivement.
- Chaque fois relever la hauteur  $h$  de la colonne d'air et la noter avec  $\Delta p$ .

**Exemple de mesure**Pression extérieure:  $p_0 = 1011 \text{ hPa}$ Hauteur du bouchon de mercure:  $h_{\text{Hg}} = 11 \text{ mm}$ Tab. 1: Hauteur  $h$  de la quantité d'air enfermée en fonction de la dépression  $\Delta p$ .

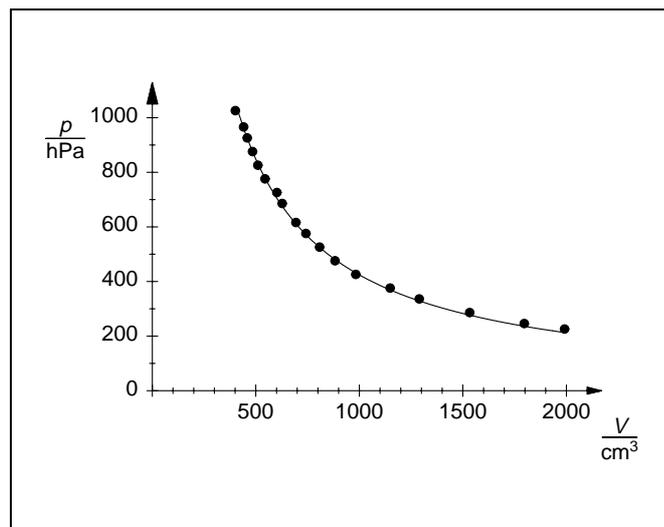
$\frac{\Delta p}{\text{hPa}}$	$\frac{h}{\text{cm}}$
0	7,0
-60	7,7
-100	8,0
-150	8,45
-200	8,9
-250	9,5
-300	10,5
-340	10,95
-410	12,1
-450	12,95
-500	14,1
-550	15,4
-600	17,15
-650	20,05
-690	22,5
-740	26,75
-780	31,35
-800	34,75

**Exploitation**Pression  $p_{\text{Hg}}$  à travers le bouchon de mercure conformément à l'équation (III):

$$p_{\text{Hg}} = 13,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 11 \text{ mm} = 15 \text{ hPa}$$

Tab. 2: Pression  $p$  (calculée à partir des valeurs mesurées  $\Delta p$  du tab. 1) dans la quantité d'air enfermée en fonction du volume  $V$  (calculé à partir des valeurs mesurées  $h$  dans le tab. 1).

$\frac{V}{\text{mm}^3}$	$\frac{p}{\text{hPa}}$
401,1	1026
441,2	966
458,4	926
484,2	876
510	826
544,4	776
601,7	726
627,4	686
693,3	616
742	576
807,9	526
882,4	476
982,7	426
1148,9	376
1289,3	336
1532,8	286
1796,4	246

Fig. 3 Pression  $p$  dans la colonne d'air enfermée en fonction du volume  $V$  à température  $T$  constante

La fig. 3 donne une représentation graphique des valeurs mesurées du tab. 2. La courbe lisse qui est tracée est l'hyperbole

$$p = \frac{C}{V}$$

avec  $C = 424\,000 \text{ hPa mm}^3$ .

Elle coïncide dans le cadre de la précision de mesure avec les valeurs mesurées qui sont inscrites. Pour la colonne d'air enfermée, l'équation (II) est valable à température ambiante, c.-à-d. que la colonne d'air se comporte comme un gaz parfait.

**Résultat**

La pression et le volume d'un gaz parfait sont inversement proportionnels à température constante.

Ou:

Le produit de la pression par le volume d'un gaz parfait est constant à température constante (loi de *Boyle-Mariotte*).